

Ueber das Laden  
der  
**Leidener Batterie durch Induction**  
und  
über die Entladung  
**der Batterie durch das Inductorium.**

Eine zur Erlangung  
der  
**v e n i a l e g e n d i**  
verfasste und mit Genehmigung einer Hochverordneten  
physico-mathematischen Facultät der Kaiserlichen Universität zu  
**DORPAT**

zur öffentlichen Vertheidigung bestimmte

**ABHANDLUNG**

von

**Arthur von Oettingen.**

Magister der Physik.



---

**DORPAT.**

Gedruckt bei E. J. Karow, Universitäts-Buchhändler.

**1862.**

Der Druck dieser Abhandlung wird unter der Bedingung gestattet, dass nach dessen Beendigung die vorschriftmässige Anzahl von Exemplaren an die Censurbehörde abgegeben wird.

Dorpat, 18. Octbr. 1862.

*Prof. Dr. A. Petzholdt,*  
d. Z. Decan der physico-mathematischen Facultät.

(No. 50.)

029/78

Seit der Vervollkommnung der Inductionsapparate, die wir hauptsächlich dem Scharfsinn des berühmten, deutschen Mechanikers Ruhmkorff in Paris zu verdanken haben, ist nur sehr wenig über den vorliegenden Gegenstand geschrieben worden. Eine erneute specielle Bearbeitung desselben erscheint um so mehr wünschenswerth, als Apparate von grösserer Dimension fast in allen physikalischen Laboratorien bereits eingeführt sind, der Werth derselben aber, wie es mir scheint, bisher nicht genug anerkannt worden. In der That kann die gewöhnliche Elektrisirmaschine, deren Behandlung sehr zeitraubend ist, in mancher Beziehung mit Vortheil durch jene ersetzt werden, und die einfache Frage: „wie ladet man eine Batterie durch Induction“, ist allein schon einer sorgfältigen Beantwortung werth. — Von erhöhtem Interesse erscheint uns aber dieser Apparat da, wo er ganz neue Erscheinungen darbietet, und bisher verschlossene Gebiete der Forschung uns eröffnet.

Dass eine so fundamentale Erscheinung, wie das Vorkommen negativer Rückstände bei positiv geladener Batterie so lange Zeit den Physikern entging, das lag lediglich an der Unvollkommenheit der Apparate; und wer mag vorausbestimmen, welche Aufklärungen uns noch durch fortgesetztes Studium der elektrischen Inductionsfunken, der Aureole oder der Erscheinungen in verdünnten Gasen bevorstehen. Gleichwie in anderen Wissenschaften durch Verbesserung der experimentellen Hilfsmittel sich neue Thatsachen niegeahnter Tragweite erschliessen, wie durch Vervollkommnung der Mikroskope für den Physiologen und Pathologen eine neue Aera durch die Entdeckung der Zelle begann, — so dürfen wir auch von den grossen Inductorien eine Erweiterung der Theorie der Elektricitätsbewegung erwarten.

Vergleicht man die heutigen Inductionsapparate hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit mit denen, die noch vor zehn Jahren gebaut wurden, so wird man die werthvollen von verschiedenen Physikern angegebenen Verbesserungen wohl zu würdigen wissen. Ich erinnere blos an den Fizeauschen Condensator, und die Arbeiten des Herrn Prof. Poggendorff, dem ein grosses Verdienst um diesen Fortschritt moderner Mechanik unbestreitbar zuerkannt werden muss.

Erst zwanzig Jahre sind es her, dass Masson und Breguet <sup>1)</sup> die ersten Versuche über freie Elektricität an den isolirten Enden einer Inductionsspirale anstellten.

1) de la Rive: Arch. de l'électricité. 1842.

Damals gelang es ihnen schon, einem Condensator eine bleibende, wenn auch nur sehr schwache Ladung zu ertheilen. Und vor zehn Jahren noch schrieb Sinstedon<sup>1)</sup> mit gesperrter Schrift, dass „die glänzenden und knallenden Entladungsfünkchen (einer durch Induktion geladenen Flasche), welche zwei Linien lang frei durch die Luft fuhren, eine sechsfache Lage von Schreibpapier unausgesetzt durchbohrten.“ Heute gelingt es dagegen, eine beliebig grosse Leidener Batterie in kurzer Zeit auf 8 bis 10 Linien Schlagweite zu laden, und durch einen Inductionsstoss eine Glasplatte von 60 Mm. Durchmesser zu durchbohren.

Es darf daher nicht Wunder nehmen, wenn bei der geringfügigen Wirkung der damaligen Instrumente die Beobachtungen der Genauigkeit ermangelten, die wir jetzt zu erreichen im Stande sind. Mitunter finden sich auch unzweifelhaft Fehler in den Angaben vor. So schrieb z. B. Sinstedon, auf dessen zahlreiche Versuche ich nicht näher eingehe, da sie nachher von Poggendorff<sup>2)</sup>, Grove<sup>3)</sup>, und ausführlich von Koosen<sup>4)</sup> besprochen wurden, — noch vor sieben Jahren, dass beim Laden einer Leidener Flasche „beide Belegungen von jedem Poldrahte des Inductoriums gleichnamig elektrisch würden“, es sei „als ob die Elektrizität ohne Weiteres durch die Glasdicke hindurchgehe“<sup>5)</sup>, und weiterhin, „es werde die Flasche nur durch die Differenz der Mengen der von den beiden Polen ungleich übergeführten Elektrizitäten bleibend geladen.“<sup>6)</sup>

Die vielfachen Bedingungen, die dort weiter angegeben sind, unter welchen allein die Ladung möglich sein soll, glaube ich ebenfalls nicht näher berühren zu müssen, da auch diese von Koosen<sup>7)</sup> sachgemäss widerlegt worden sind.

Die letzte über diesen Gegenstand geschriebene Arbeit ist die so eben erwähnte von Koosen vom Jahre 1856. Wir finden hier ausdrücklich erwähnt, dass die durch Inductionsströme entstandene Ladung, — die übrigens nur geschätzt, und nicht genau gemessen wurde, — sich aus den bekannten Gesetzen der Elektrizitätslehre erklären liesse, dass hiezu eine ungleiche Entfernung der Poldrähte von den Batteriebelegungen, die Sinstedon verlangte, keineswegs nothwendig sei. Auch die Selbstentladung der Batterie durch das Inductorium wird, wenigstens der Erscheinung nach, treffend charakterisirt<sup>8)</sup>, die Bedingung dagegen für den Eintritt derselben nicht richtig angegeben, worauf am geeigneten Orte hingewiesen werden wird.

Ich werde in der vorliegenden Abhandlung ausführlich sowohl das Laden der Batterie durch Induction, als namentlich auch die Selbstentladungen durch den Inductionsapparat betrachten, welche letztere mir von besonderem Interesse zu sein scheinen, indem

1) Pogg. Ann. Bd. 85. S. 468. siehe auch Bd. 69. S. 353.

2) Pogg. Ann. Bd. 94. S. 326.

3) Philos. Mag. (4). IX. 1—4. 1855.

4) Pogg. Ann. Bd. 97. S. 212.

5) Pogg. Ann. Bd. 96. S. 356.

6) Pogg. Ann. Bd. 96. S. 358.

7) Pogg. Ann. Bd. 97. S. 214.

8) Pogg. Ann. Bd. 97. S. 217.

wir es hier mit Entladungen unter ganz anderen Bedingungen, als gewöhnlich, zu thun haben. Die mannigfachen hier obwaltenden Verhältnisse werde ich versuchen auf Grund der bekannten, und bereits bewährten Gesetze zu erklären, — andrerseits werden sich hierbei neue Gesichtspunkte ergeben, die für die Elektrizitätslehre nicht ganz unerheblich sein möchten. Unter anderem verdanke ich die Möglichkeit dieser Untersuchung der Anwendung des Galvanometers, auf welches mich seiner Zeit Herr Doctor Paalzow in Berlin aufmerksam gemacht hat. Und es mag wohl an der Zeit sein, endlich einmal jene, allgemach bereits verdrängte, so sehr primitive Methode der physiologischen Wirkung auf Hände, Arme und Körper ganz zu verbannen.

Bevor ich vom Laden der Batterie handle, will ich einige Worte über die Inductionsströme voranschicken.

Das Inductorium, mit dem ich die nachfolgenden Beobachtungen angestellt habe, stammt aus der Werkstatt des Herrn Ruhmkorff. Die innere Spirale, welche ein Eisendrahtbündel umschliesst, ist ein Kupferdraht von 40 Meter Länge und 2, 5 mm. Dicke. Die äussere Spirale ist 60,000 Meter lang und 0,2 mm. dick, der Condensator hat eine Oberfläche von 40 Quadratmeter. Der Hammerapparat oder Unterbrecher erlaubt eine nach Wunsch schnellere oder langsamere Aufeinanderfolge von Unterbrechungen des Hauptstroms. Bei der Schliessung desselben taucht ein gehärteter Stahlstift in reines Quecksilber.

Zur Messung der durch einen Inductionsstoss in Bewegung gesetzten Elektrizitätsmenge bediente ich mich desselben Galvanometers, das ich in einer früheren Abhandlung<sup>1)</sup> beschrieben. Auch die Ablesung geschah in derselben Weise.

Verbindet man die beiden Poldrähte des Inductoriums mit denen des Galvanometers, und schaltet in den einen Verbindungszweig einen Funkenmesser ein, so erhält man bei jedem Inductionsstoss eine Ablenkung der Galvanometerskale, deren Grösse von der Intensität des Hauptstromes und der Beschaffenheit der Funkenstrecke abhängig ist. — Es soll fortan, um die Aufgabe nicht zu compliciren, der Hauptstrom constant gelassen, ebenso am Funkenmesser nur die Distanz der Elektroden, und nicht die Form derselben verändert werden.

Ist der Inductionsdraht geschlossen, so dass die Kugeln des Funkenmessers sich berühren, so giebt der Schliessungsstrom denselben Ausschlag am Galvanometer wie der Oeffnungsstrom, nur, wie sich von selbst versteht, nach der entgegengesetzten Seite. Sobald aber die kleinste Funkenstrecke sich in der Schliessung befindet, nimmt der Schliessungsstrom bedeutend an Intensität ab, und verschwindet bereits ganz bei einer etwas grösseren Schlagweite. Auch der Oeffnungsstrom wird durch die geringste Funkenstrecke bedeutend geschwächt, bei weiterer Vergrösserung derselben nimmt er langsam ab, und es wird der Galvanometerspiegel stets abgelenkt, so lange noch Funken

1) Pogg. Ann. Bd. 115. S. 519.

in der Schlagweite erscheinen; bei einer Büschelentladung bleibt er dagegen in Ruhe.

Eine Relation zwischen der Elektricitätsmenge und der Funkenstrecke aufzustellen hätte keinen Zweck, denn eine Formel könnte hier keinen allgemeinen Werth haben, und müsste schon bei veränderter Form der Elektroden eine andere sein. Die nachfolgende Tabelle soll bloß davon eine Anschauung geben, in welchem Maasse die Elektricitätsmenge mit Vergrößerung der Funkenstrecke abnimmt:

Schlagweite. mm.	Inductionsstrom.	Schlagweite. mm.	Inductionsstrom.
0,0	345. 350. 349.	8,0	77. 78. 75.
0,5	178. 172. 175.	8,5	73. 73.
1,0	161.	9,0	71. 73. 72.
1,5	144. 142.	10	68. 68.
2,0	129. 131. 134. 130.	12	60. 59.
2,5	125. 126. 120. 123.	14	52. 52. 53.
3,0	112. 113. 114. 112.	16	48. 48.
3,5	108. 108. 108.	18	44. 45.
4,0	105. 103. 105. 104.	20	40. 37. 40.
4,5	98. 94. 91. 97.	22	36. 36.
5,0	96. 96. 93.	24	32. 34. 32.
5,5	94. 92. 93.	26	27. 25. 28.
6,0	90. 91. 88. 91.	28	27. 28.
6,5	89. 88. 87.	30	26. 25,5.
7,0	84. 85.	32	23.
7,5	83. 82. 79. 79.	34	20. 21. 21. 20,5.

Ich bezweifle sehr, ob durch eine andre Art der Stromunterbrechung constantere Ströme erhalten werden können.

Im Uebrigen verweise ich auf eine ähnliche Untersuchung von Koosen<sup>1)</sup>, bei welcher er auch verschiedene metallische und flüssige Widerstände in den Schliessungsbogen einschaltete.

Befand sich ausser der Funkenstrecke noch eine Geisslersche Röhre im Inductionsdrahte, so wurden die Ströme nur sehr wenig geschwächt. Ich habe an meinem Apparat bei kleinen Funkenstrecken stets einfach gerichtete, niemals alternirende Entladungen der Art, wie sie Magnus<sup>2)</sup> kürzlich an dem seinigen gezeigt hat, wahrgenommen. Von dem Vorkommen dieser letzteren bei dem Apparate des Berliner physikalischen Cabinets habe ich mich selbst, durch die Güte des Herrn Professor Magnus, zu überzeugen Gelegenheit gehabt. An dem meinigen erhielt ich solche nur

1) Pogg. Ann. Bd. 107. S. 197.  
2) Berl. Monatsberichte v. J. 1861.

bei grossen Funkenstrecken und bedeutenden Widerständen, wobei die Lichterscheinungen sehr an Helligkeit abnahmen. — Bei der oben angeführten Versuchsreihe war nun der Hauptstrom constant geblieben, mithin auch die inducirte elektromotorische Kraft. Je länger aber der Induktionsfunke, um so geringer war die Elektricitätsmenge, die sich durch die Funkenstrecke hindurch ausglich. Es muss deshalb, wie auch Koosen schon ausdrücklich bemerkt hat, vorausgesetzt werden, dass sich ein Theil der an den Poldrähten angesammelten Elektricität, vor dem Beginn der Funkenentladung in das Inductorium zurückbewegt, und es erhält dadurch die Erscheinung der evacuirten Röhre eine genügende Erklärung.

Von den soeben hingestellten Gesichtspunkten aus wird es möglich, den Vorgang beim Laden einer Flasche zu verstehen.

I. Das Laden der Leidener Batterie.

Das Schema der nachfolgenden Versuche sieht man in Fig. 1 der beigefügten Taf., wo J das Inductorium bedeutet, D die Funkenstrecke zwischen dem einen (stets positiven) Zweige desselben und der Batterie. Der andere (negative) Poldraht ist unmittelbar mit der äusseren Belegung und mit einer gutleitenden Erdleitung verbunden, und zwar mit einem Kupferdrahte, der zu den Gasröhren des Hauses geführt war. Um die Ladung der Batterie messen zu können, war ein Draht s' von dem Knopf K der inneren Belegung zu einem Entladungsapparat bei F, den ich am angeführten Orte<sup>1)</sup> beschrieben habe, geführt; ein zweiter Draht s'' verband den Auslader F mit der äusseren Belegung A der Batterie, und enthielt das Galvanometer G.

Am Hammerapparat wurde nun der Hauptstrom mit der Hand unterbrochen, und sobald ein Induktionsfunke in D erschienen war, der Fallarm F gesenkt und die Elektricitätsmenge der gewonnenen Ladung gemessen. — Ist kein Funke in D erschienen, so ist nach dem Inductionsstoss die Batterie nicht geladen.

Setzen wir wiederum die Intensität des Hauptstromes als constant voraus, so wird die Ladung lediglich von der Capacität der Batterie und der Länge der Inductionsschlagweite abhängen. Hierunter verstehe ich die Funkenstrecke D im Gegensatz zur Batterieschlagweite, die als Maass der Ladung der Batterie gilt und derjenigen Funkenstrecke entspricht, bei welcher die geladene Batterie in einem besonderen Schliessungsbogen sich entladen würde, die mithin nahezu proportional der Dichtigkeit der Ladung ist.

Wenn wir mit der grössten Inductionsschlagweite D anfangen, d. h. da, wo bei gegebener Intensität des Hauptstromes Funken, und nicht mehr Büschel, nach der Bat-

1) Pogg. Ann. Bd. 115. S. 518

terie überspringen, so wird die letztere stets positiv geladen werden. Verkleinern wir  $D$ , so nimmt, wie wir oben sahen, die durch je einen Inductionsschlag hervorgebrachte Ablenkung des Galvanometerspiegels zu, — um so stärker wird jetzt die Batterie geladen werden müssen. Hiemit wächst zugleich die Dichtigkeit auf der mit der Batterie verbundenen Kugel des Funkenmessers  $D$ , bis endlich bei einer gewissen Inductionsschlagweite  $D_1$  die Batterie sich rückwärts durch den Inductionsdraht von selbst wieder entladet. Von  $D = D_1$  an abwärts bis  $D = 0$  werden die einzelnen Inductionsschläge immer intensiver, um so stärker wird die Batterie durch je einen Inductionsschlag geladen, um so gewisser muss die Selbstentladung der Batterie eintreten. — Bleiben wir dagegen bei  $D = D_1$  stehen, so lehrt der Versuch, dass bei einer Vergrößerung der Batterie die durch je einen Inductionsschlag aufgenommene Ladung an Elektrizitätsmenge zu-, an Dichtigkeit aber abnimmt, — die Selbstentladung beginnt daher später, d. h. bei  $D < D_1$ .

In nachfolgender Versuchsreihe wurde nun die Flaschenzahl  $s$  variiert, und die Ladungen innerhalb derjenigen Grenzen der Inductionsschlagweite gemessen, wo die Selbstentladungen noch nicht stattfanden. Unter der Rubrik  $\infty$  ist die Elektrizitätsmenge des „freien Inductionsschlages“ verzeichnet, d. h. des durch keine Flasche gehemmten Stromes. Hierzu brauchte blos der Knopf  $K$  von der Innenseite der Batterie gelöst, und der Fallarm  $F$  vor dem Inductionsschlag gesenkt zu werden. Bei  $D = 34\text{ mm}$  begannen bei der angewandten Intensität des Hauptstromes die Funken überzuspringen.  $Q$  ist die am Galvanometer beobachtete Elektrizitätsmenge,  $\delta$  die berechnete Dichtigkeit derselben  $= \frac{Q}{s}$ . Die Flaschenzahl  $s$  ist sehr nahe gleich der Capacität der Flaschen, deren jede eine innere Belegung von 0,25 Quadratmeter mass.

Die durch je einen Inductionsschlag bei verschiedener Batterieoberfläche gewonnene Ladung:

Flaschenzahl.	$\infty$		10		7		4		2		1	
Inductionsschlagweite. $D$	$Q$		$Q$		$Q$		$Q$		$Q$		$Q$	
			$\delta$		$\delta$		$\delta$		$\delta$		$\delta$	
34 mm.	20	20,5	19	1,9	17,5	2,7	16	4,0	15	7,5	11,5	11,5
32 „	23		21	2,1	20	2,8	19	4,7	16	8,0	13	13
30 „	25,5	26	23	2,3	21	3,0	20	5,0	17	8,5	14,5	14,5
28 „	27	28	24,5	2,4	22	3,2	21	5,2	18,5	9,2	15	15
26 „	27	25	26	2,6	24	3,4	22	5,5	19	9,5	15	15
24 „	32	34	28	2,8	25,5	3,6	23,5	5,9	19,5	9,7	15,5	15,5
22 „	36	36	31	3,1	27	3,8	24	6,0	20	10,0	16	16
20 „	40	37	32	3,2	29	4,1	26	6,5	21	10,5	16,5	16,5
18 „	44	45	35	3,5	32	4,6	27	6,8	22	11,0	17	17
16 „	48	48	37	3,7	32,5	4,7	28	7,0	22,5	11,2	17	17
14 „	52	52	38,5	3,8	35	5,0	29	7,2	23	11,5	—	—
12 „	60	59	40,5	4,0	36	5,1	30,5	7,6	24	12,0		
10 „	68	68	42	4,2	37	5,3	32	8,0	25	12,5		
8 „	77	78	45	4,5	40,5	5,8	33	8,3	26	13,0		
6 „	90	91	48	4,8	42,5	6,1	34,5	8,6	—	—		
4 „	105	103	50	5,0	44	6,3	36	9,0				
2 „	129	131	54	5,4	48	6,8	—	—				
1 „	161		—	—	—	—						
0,5 „	178	172										
0 „	345	350										

Ueber den freien Inductionsschlag hat Koosen<sup>1)</sup> eine theoretische Betrachtung angestellt, um die Abnahme der Elektrizität bei Vergrößerung der Funkenstrecke zu erklären. Auf ähnliche Weise lässt sich auch in dem vorliegenden Fall, wo eine Batterie geladen wird, ein Einblick gewinnen:

Die Theorie lehrt, dass bei unveränderter Intensität des Hauptstromes und bei derselben Art, ihn zu öffnen, stets ein und dieselbe elektromotorische Kraft inducirt wird, proportional der Abnahme der Intensität des Hauptstromes. — Denken wir uns [Fig. 2.] einen Draht  $a$  und eine Kugel  $B$  mit einander verbunden. In einem Querschnitt  $s$  des Drahtes  $a$ , den wir uns unendlich dünn vorstellen, sei eine von der Zeit  $t$  abhängige elektromotorische Kraft thätig, die wir uns in der Gestalt einer Curve  $abc$  [Fig. 2.] vorstellen, deren Abscissen also die Zeit, und deren Ordinaten die Grösse der in  $s$  stattfindenden elektromotorischen Kraft bedeuten. — Die Kugel wird geladen werden; die sich

1) Pogg. Ann. Bd. 107. S. 193.

auf derselben ansammelnde Elektrizität wird mit der Zeit an Dichtigkeit zunehmen, und im Drahte a eine der inducirten entgegenwirkende elektromotorische Kraft erzeugen. So lange die ursprüngliche Kraft überwiegt, bewegt sich die Elektrizität nach der Kugel B hin, mit einer Intensität, proportional der mit der Zeit sich fortwährend verändernden Differenz der elektromotorischen Kräfte in s.

Die entgegenwirkende elektromotorische Kraft wird von der Capacität von B abhängen. Ist diese gering, so wächst die entgegenwirkende Kraft rasch an, und mag, etwa zur Zeit  $t = af$  gleich der ursprünglichen Kraft in s werden. So lange aber die letztere noch ansteigt, und daher noch weiter Elektrizität nach B hinfließt, muss auch das Potenzial von B auf den Punkt s zunehmen. Erst beim Maximum zur Zeit  $t = ah$  tritt Gleichgewicht ein, welches fortbestehen würde, wenn die elektromotorische Kraft in a constant  $= bh$  bliebe. In unserem Falle aber nimmt sie ab, es tritt somit eine entgegengesetzte Bewegung ein, die um so stärker sein wird, je schneller die ursprüngliche Kraft sinkt.

Denken wir uns die Kugel B grösser, so werden wir jetzt in entsprechenden Zeitmomenten geringere Potenzialwerthe auf der Kugel B finden, da das Potenzial auf einen Punkt in a umgekehrt proportional ist der Capacität von B. Entsprechend langsamer wächst mithin jetzt auch die entgegenwirkende elektromotorische Kraft. Es kann selbst der Fall eintreten, dass bei dem Maximum  $bh$  die ursprüngliche Kraft noch bedeutend die andre überwiegt. Die Elektrizität wird mithin fortfahren, nach B zu fließen. Je grösser B, um so später, d. h. bei um so grösserer Elektrizitätsmenge, aber zugleich um so geringerer Dichtigkeit derselben tritt die momentane Gleichgewichtslage ein, — und wenn B unendlich gross ist, so wird die gesammte durch den Inductionstoss in Bewegung gesetzte Elektrizität sich auf der Kugel B befinden, und das Gleichgewicht also erst dann eintreten, wenn die ursprüngliche elektromotorische Kraft in a unendlich klein oder 0 geworden. Wenn umgekehrt, B immer mehr abnimmt, so wird die aufgenommene Elektrizitätsmenge auch geringer werden, aber die von dem Potenzial von B auf s erzeugte elektromotorische Kraft wird nicht unbegrenzt wachsen können, sondern sie erreicht einen Maximalwerth  $= bh$ , der auch wenn B noch kleiner und zuletzt unendlich klein wird, derselbe bleibt.

Denken wir uns jetzt die Kugel B durch eine Batterie ersetzt, und den Draht a als den positiven Zweig eines Inductoriums, so wird der Verlauf ganz derselbe sein, nur dass jetzt, sobald die positive Elektrizität in die Flasche strömt, sogleich negative an der äusseren Belegung gebunden wird, während abgestossene positive in den Erdboden fließt, oder auch mit der aus dem Inductorium herbeiströmenden negativen sich neutralisirt. Nehmen wir weiter an, eine Luftstrecke befinde sich zwischen dem Poldrahte a und der Batterie, so tritt zunächst ein bedeutender Unterschied dadurch hervor, dass der Inductionstrom geschwächt und die Elektrizität erst bei einer gewissen Dichtigkeit im Stande sein wird, die Luftstrecke zu durchbrechen. Sobald dieses aber einmal geschehen, so

wird der gebildete Funkenkanal der Erfahrung gemäss die Elektrizität ähnlich wie ein metallischer Draht leiten (wir haben wenigstens noch kein Mittel, uns eine andere Vorstellung zu verschaffen), bis die Stromintensität 0 geworden und die Batterie die höchstmögliche Dichtigkeit der Ladung erreicht hat. Aus der Thatsache aber, dass eine gewisse Elektrizitätsmenge in der Batterie bleibt, und sich nicht durch die bereits vorgebildete Funkenstrecke hindurch wieder entladet, wie die Kugel B es that, wenn sie mit dem Drahte a fest verbunden war, — aus dieser Thatsache schliesse ich, dass eine vom elektrischen Funken durchbrochene Luftstrecke sich nicht wie ein metallischer Leiter verhält, denn sonst müsste, sobald die Elektrizität nicht mehr zuströmt, die Batterie sofort sich wieder entladen. Dieses geschieht allerdings, aber nur wenn die Dichtigkeit der Ladung eine ganz bestimmte Höhe erreicht. Diese Grenze wird, wie wir in unsern Versuchen bestätigt finden, bei kleiner Oberfläche früher, d. h. bei grösserer Schlagweite eintreten müssen<sup>1)</sup>.

Da, wo in der Tabelle die Reihe für eine bestimmte Flaschenzahl abgebrochen ist, war dieser Moment erreicht; verkleinerte man die Schlagweite noch weiter, so wurden dadurch die Elektrizitätsmengen vermehrt, — um so gewisser musste also dann die Selbstentladung der Batterie erfolgen.

In unserer Versuchsreihe werden wir nun verstehen, weshalb die in der Batterie angesammelte Elektrizitätsmenge stets kleiner ist, als die des freien Inductionsstosses. Wir sehen, dass dieselbe um so kleiner, aber auch um so dichter ist, je geringer die Batterieoberfläche. Nach dem Vorhergegangenen ist es ebenso leicht zu begreifen, dass die Elektrizitätsmenge der gewonnenen Ladung sich um so mehr der des freien Inductionsstosses nähert, je grösser die Inductionsschlagweite D ist.

Beiläufig verhält sich, wie aus vorliegender Versuchsreihe zu schliessen wäre, die Dichtigkeit der durch einen Inductionstoss gewonnenen Ladung bei einer gewissen Oberfläche zu der der halben Oberfläche nahezu wie 5 : 8.

Wurde bei der Schlagweite  $D = 16$  mm. die Intensität des Hauptstroms vermehrt, so wuchs, bei zwei Flaschen z. B., die Elektrizitätsmenge der gewonnenen Ladung, deren Dichtigkeit oben  $= 11,2$  beobachtet wurde, allmählich an, bis bei einer gewissen Intensität des Hauptstromes die Selbstentladung eintrat. Das Maximum der Ladung betrug aber 34, deren Dichtigkeit mithin  $34/2 = 17$ ; d. i. dieselbe Dichtigkeit, wie die des Maximums bei einer Flasche.

Eine höhere Ladung erreicht man auch durch zwei- oder mehrmaliges Oeffnen des Hauptstromes. Bei jedem neuen Stoss wird dann die die Funkenstrecke durchlaufende Elektrizitätsmenge kleiner als beim vorhergehenden, und zwar um so kleiner, je schneller die Dichtigkeit an der mit der Batterie verbundenen Kugel des Funkenmessers anwächst, d. h. je kleiner die Batterie ist. Denn je stärker diese bereits geladen, um so dichter muss

1) Isolirt man die Poldrähte des Inductoriums, so entspricht die Elektrizitätsbewegung dem obenbesprochenen Falle der unendlich kleinen Capacität der Batterie, oder der Kugel B, verbindet man die beiden Zweige mit der Erde, so entspricht das einer unendlich grossen Capacität von B.

die Elektrizität auf der anderen Kugel des Funkenmessers sein, um dieselbe Schlagweite zu durchbrechen.

Bei einer bestimmten Dichtigkeit kann mithin das Ueberspringen der Funken auch aufhören, die Ladung der Batterie hat dann für diese Intensität des Hauptstromes das Maximum erreicht. Da nun sowohl jetzt, als auch in dem anderen Falle, wo die Gränze der Ladung bei einer gewissen Funkenstrecke durch den Moment des Zurückgehens ins Inductorium bedingt wird, nur die Dichtigkeit der Ladung maassgebend ist, so folgt „dass das Maximum der Schlagweite, bis zu welcher eine Batterie bei einer bestimmten Inductionsschlagweite geladen werden kann, unabhängig von der Oberfläche, oder allgemeiner von der Capacität der Batterie ist.“ Je grösser diese, um so mehr Stösse werden erforderlich sein, dieses Maximum der Schlagweite zu erreichen <sup>1)</sup>.

Bestimmen kann man dieses Maximum der Schlagweite am einfachsten, wenn man die Batterie mit einem besonderen Schliessungsbogen versieht, der einen zweiten Funkenmesser enthält. — Ich habe jedoch ein anderes Verfahren vorgezogen, bei welchem ich zugleich die Elektrizitätsmenge jedes einzelnen zur Batterie hinzukommenden Inductionsstosses beobachten konnte.

Nach dem früher angegebenen Schema [Fig. 1] wurde die Ladung gemessen, die man durch je ein, zwei, drei u. s. w. Stösse erhielt, bis man diejenige Anzahl erreicht hatte, bei welcher die Selbstentladung der Batterie in das Inductorium beginnt, ein Moment, der sich nicht allein durch die Messung am Galvanometer, sondern auch, wie bekannt <sup>2)</sup>, durch das flammige Aussehen des Funkens sogleich kundgiebt.

1) Koosen sagt (Pogg. Ann. 97. S. 222): „Das Maximum der Dichte der Elektrizität, welche man an den Belegungen einer Guttaperchabatterie mittelst der Inductionsmaschine anhäufen kann, nimmt ab, wenn die Flächengrösse der Batterie zunimmt; es muss also eine bestimmte Grösse geben, bei welcher die Menge der überhaupt angeführten Elektrizität, ein Grösstes ist.“

Gleich darauf heisst es weiter, „dass beim Laden mit der Elektrisirmaschine die Menge der Elektrizität welche eine Flasche aufzunehmen vermag, proportional der Belegungsfläche sei.“ Wenn nun in letzterem Falle von den stärkeren Verlusten durch Zerstreung bei grösseren Batterien abgesehen wird, so bleibt in der That gar kein Grund für das zuvor von Koosen ausgesprochene Gesetz übrig. — Es giebt allerdings einen Nebenumstand, von dem in unserer obigen Deduktion abgesehen wurde, der bei einer Ladung mit wenigen Stössen eintritt. Hierbei kann allerdings bei kleiner Batterieoberfläche das Maximum dadurch grösser werden, dass die elektromotor. Kraft in a andauert, und die Selbstentladung durch's Inductorium verhindert, ein Unterschied, der indes nur bei grosser Intensität des Hauptstroms und bei geringer Schlagweite bedeutend werden kann.

2) Pogg. Ann. Bd. 97. S. 217.

Schlag- weite D	Freier Inductions- stoss.	Ladung der Batterie durch mehrere Inductionsstösse.													
		Anzahl der Inductions- stösse:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	19	20
1,8	114	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,0	111	42,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,7	101	39,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,0	95	39	62	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,7	73	37	59	76	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5,2	70	36	58	74	88	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6,7	67	35	58	73	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8,3	65	34	57	74	89	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—
9,6	64	34	57	73	88	102	111	—	—	—	—	—	—	—	—
11,2	60	—	—	—	—	—	—	—	119	124	—	—	—	—	—
13,1	52	32	49	66	82	93	104	114	123	131	139	147	—	—	—
18,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	172	—

Die Beobachtungen jeder Horizontalreihe wurden da abgebrochen, wo keine bleibende Ladung mehr gewonnen werden konnte. Es war eine solche z. B. durch eine Unterbrechung des Hauptstromes — von der angewandten Intensität desselben — nicht mehr möglich bei einer Schlagweite von 1,8 mm. <sup>1)</sup>. Bei D = 2,0 mm. brachte der zweite Inductionsstoss die Selbstentladung hervor, bei D = 3,0 mm. der dritte u. s. w. Bei D = 18 mm. dagegen wurde das letzte Maximum durch 19 Inductionsstösse erhalten. Vergrösserte man die Schlagweite, so hörte das Ueberspringen der Funken auf, und das entsprechende Maximum hätte durch Erhöhung der Intensität des Hauptstromes erreicht werden können.

Man übersieht aus der vorliegenden Versuchsreihe, wie jeder neu hinzukommende Stoss eine geringere Elektrizitätsmenge der Batterie zuführt, als der ihm vorhergehende; so z. B. bei D = 13,1, wo diese Elektrizitätsmengen folgende sind:

32; 17; 17; 16; 11; 11; 10; 9; 8; 8; 8; oder bei D = 9,6: 34; 23; 16; 15; 14; 9.

Kommt es also je nach dem Zweck der Versuche darauf an, eine Batterie bis zu einer bestimmten Schlagweite zu laden, so müsste man Mittel aufsuchen, die durch die letzten Stösse zur Ladung hinzugeführten Elektrizitätsmengen möglichst zu verringern.

Ein formulirtes Gesetz für die so eben mitgetheilten Beobachtungen zu suchen, wäre zwecklos, da schon ein anderer Durchmesser der Kugeln am Funkenmikrometer, sowie eine Veränderung der Batterieoberfläche einen andern Gang der Zahlen bedingen müsste.

Auf diesem Wege habe ich aber die Dichtigkeit zu bestimmen versucht, die dem Maximum der Ladung entsprach, um, wo möglich, eine einfache Relation zwischen dieser und der angewandten Funkenstrecke zu finden. Aus zahlreichen Beobachtungen wurde

1) Durch den Schliessungsstrom, der bei dieser Schlagweite noch Funken gab, gelang es die Batterie bis zu einer Ablenkung des Galvanometerspiegels = — 20 zu laden.

die nachfolgende Tabelle mit doppeltem Eingange zusammengestellt, indem bei verschiedener Oberfläche die Maxima der Ladungen beobachtet, die Elektrizitätsmengen derselben durch die Anzahl der Flaschen dividirt, und die so erhaltenen Dichtigkeiten an ihrem Ort verzeichnet wurden. Beispielsweise waren die bei 2,0 mm. Schlagweite und resp. 8, 6 und 3 Flaschen beobachteten Maxima 51; 39,5; 19,5. — Bei erhöhter Intensität des Hauptstromes trat, indem dadurch die Ladung stieg, die Selbstentladung ein; die zu verzeichnenden Dichtigkeiten waren mithin:  $\frac{51}{8} = 6,4$ ;  $\frac{39,5}{6} = 6,6$ ;  $\frac{19,5}{3} = 6,5$ .

Unter der letzten Rubrik dagegen findet man die nach der hypothetischen Formel  $\delta = a\sqrt{D}$  bezeichneten Dichtigkeiten des Maximums, wo D die Inductionsschlagweite und a eine Constante bedeutet.

Maxima der Dichtigkeit, erhalten durch											
Schlagweite D	bei der Oberfläche:	je einen Inductionstoss								mehrere Inductionstösse. 8	die Formel $\delta = a\sqrt{D}$
		8	7	6	5	4	3	2	1	$\frac{1}{3}$	
0,3 mm.		2,3				2,4		2,7			2,45
0,4 "		3,0				2,9					2,84
0,5 "			3,3								3,17
0,6 "				4,0		4,5		4,3	3,5		3,48
0,7 "							4,0				3,77
0,9 "					4,6						4,27
1,2 "						5,4		5,2			4,90
1,3 "		5,6									5,13
1,4 "									5,6		5,32
1,6 "		5,7									5,69
1,7 "			5,8								5,86
2,0 "		6,4		6,6			6,5				6,36
2,5 "					7,5			7,5	7,5		7,11
3,0 "						8,1					7,9
3,5 "						8,1					8,4
4,0 "											8,4
4,5 "											9,0
5,0 "											9,0
5,5 "		9,5						9,0		9	9,4
6,0 "											10,7
6,5 "											10,0
8,0 "			10,5								11,4
8,5 "											11,6
9 "				10,8							11,0
11 "					10,8						11,4
12 "											12,6
14 "											13,0
18 "											13,1
24 "											13,5
											13,5
											15,2
											14,9
											15,6
											16,9
											18,5
											21,3
											19,0
											22,0
											25

Die Zahlen einer jeden Horizontalreihe stimmen gut mit einander überein, und da auch die Abweichungen von den nach der Formel berechneten Werthen nur gering sind, so dürfen wir schliessen:

„Die Dichtigkeit der Elektrizität, bei welcher eine Selbstentladung der Batterie eintritt, ist proportional der Quadratwurzel aus der Länge der durchbrochenen Inductionsschlagweite,“ und hieraus ergibt sich ferner das für den praktischen Zweck des Ladens durch Induction nützliche Gesetz:

„Das Maximum der Dichtigkeit, bis zu welcher man eine Batterie bei einer gewissen Inductionsschlagweite laden kann, ist proportional der Quadratwurzel aus der letzteren.“

Hat man also für irgend eine Inductionsschlagweite das Maximum der Ladung gefunden, so kann man nur bei einer mindestens vierfachen Inductionsschlagweite die doppelte Höhe derselben erreichen; — und anders wiederum: Wenn eine gewisse Dichtigkeit gerade eben genügt, eine durch den Inductionstoss vorgebildete Funkenstrecke rückwärts zu durchbrechen, so ist mindestens die doppelte Dichtigkeit erforderlich, eine vorgebildete Funkenstrecke von vierfacher Länge zu durchbrechen.

Die Form dieses Gesetzes, wie sie zuerst oben ausgesprochen wurde, scheint mir die wichtigere zu sein, — denn sie findet auch bei den gewöhnlichen Entladungen einer Batterie Anwendung. Durch die Beschaffenheit des Schliessungsbogens können die mannigfachsten Arten von alternirenden Entladungen ermöglicht werden, und es wäre denkbar, dass stets ein und dieselbe Formel

$$\delta = a\sqrt{D}$$

den Moment bedinge, wo eine alternirende Entladung unterbrochen werde. In meiner früheren Abhandlung habe ich bereits darauf aufmerksam gemacht, dass eine jede Periode bei einer ganz bestimmten und von der Schlagweite abhängigen Dichtigkeit der Rückstände abbrach <sup>1)</sup>. Je kleiner der Widerstand, bei um so geringerer Dichtigkeit konnten neue Alternationen beginnen. Vorausgesetzt nun, die Formel  $\delta = a\sqrt{D}$  wäre allgemein gültig, so müsste a je nach dem Widerstand seinen Werth ändern <sup>2)</sup>. Diese Constante a, die in den vorliegenden Versuchen für die hier gewählten Maasseinheiten den Werth 4,5 erhielt, ist offenbar eine Function von der Temperatur des Funkens, und würde vielleicht auch dann sich ändern, wenn man die Luft in der Funkenstrecke durch ein anderes Gas ersetzte.

Ob ein solches Gesetz, wie wir soeben gefunden, dessen innere Nothwendigkeit sich übrigens für jetzt nicht einsehen lässt, auch für eine andere Form der Elektroden, als eine kugelförmige, gilt, habe ich nicht geprüft <sup>3)</sup>.

1) Pogg. Ann. Bd. 115. S. 522.

2) Derselbe Werth a = 4,5 passt ziemlich gut für den Beginn einer neuen Periode bei dem Widerstande der Col. 1 auf Seite 520 des Bdes. 115 der Ann., — sowie a = 2,6 für die Col. 2 ebendasselbst. — Der Widerstand der Col. 1 ist übrigens dieselbe Inductionsspirale (mit Eisenkern), deren wir in dieser Abhandlung uns bedient haben. Bei den unvermeidlichen Fehlern, die jenen Versuchen noch anhaften, glaube ich diesen Gegenstand nicht ausführlicher berühren zu dürfen.

3) Es erscheint hier nothwendig, auf die von Koosen gemachten Bemerkungen über den vorliegenden



In der letzten Tabelle wird man manche Zahlen angegeben finden, die weniger gut mit den berechneten stimmen, allein ich habe solche mitzuthellen mich nicht gescheut, denn es sind derartige Schwankungen fast eine Nothwendigkeit bei der vorliegenden Art der Versuche.

Gemeinschaftlich mit Herrn Dr. Paalzow habe ich längere Zeit daran gearbeitet, möglichst constante Ladungen zu erhalten. Mir scheint es indess, als könnte das Inductorium in dieser Beziehung niemals die gewöhnliche Elektrisirmaschine verdrängen, sobald es sich um messende Versuche handelt. Je kleiner die Batterieschlagweite oder, was dasselbe wäre, die Ladung ist, die erreicht werden soll, um so unzuverlässiger wird das Laden durch Induction. Die Intensität des Hauptstromes muss dann möglichst geschwächt werden. Die Vorsichtsmaassregeln, die man zur Vermeidung des stossweisen und heftigen Einstromens grösserer Elektricitätsmengen anwenden kann, bestehen hauptsächlich in einer Einschaltung von möglichst viel flüssigen Widerständen. Allerdings wird dadurch das erreichbare Maximum der Ladung bedeutend herabgesetzt.

Eine sehr zweckmässige und zugleich ganz einfache Construction für flüssige Widerstandssäulen ist folgende [Fig. 3]: zwei Glastöpfchen  $F_1$  und  $F_2$  werden mit doppeldurchbohrten Kautschoukpfropfen verschlossen. Ein beliebig langes Glasrohr  $R$ , von 0,1 bis 2,5 innerem Durchmesser, nach Belieben mehrmals eingebogen, wird mit seinen beiden Enden in je eine Durchbohrung der beiden Pfropfen gebracht, und reicht beiderseits bis nahe an den Boden. In die zweite Durchbohrung des einen Töpfchens wird ein Trichter  $T$  eingesteckt, in das andere Töpfchen ein gebogenes Saugrohr  $S$ . — Die Flüssigkeit, (Wasser, verdünnte Schwefelsäure oder Alkohol), welche durch den Trichter  $T$  eingegossen, und falls sie nicht in  $R$  steigt, durch Saugen an der Röhre  $S$  weiter befördert werden kann, ist auf diese Art gegen Verdunstung, Verunreinigung durch Staub und dergleichen vortrefflich geschützt. Zwei Platinbleche  $p_1$  und  $p_2$  tauchen in die Flüssigkeiten, und gestatten vermittelt der angelötheten Platindrähte  $k_1$  und  $k_2$  die Einschaltung in jeden beliebigen Stromzweig. Eine solche Widerstandssäule hatte sich bei mir ein ganzes Jahr gut erhalten.

Ganz vorzüglich eignet sich das Inductorium als Elektrisirmaschine zu solchen

Gegenstand näher einzugehen. Koosen sagt (Ann. Bd. 97. S. 218): „Die Selbstentladung der Batterie muss immer erfolgen, sobald die Dichte der Elektricität am Ende des Zuleitungsdrahtes ( $D_k$  in unserer Fig. 1 der beig. Taf.) derjenigen Schlagweite entspricht, welche der Entfernung des Poldrahtes von dem Zuleitungsdrahte gleichkommt.“ Wir haben gesehen, dass die Selbstentladung viel früher eintritt. In der That habe ich solche durch eine Schlagweite von 110 Centimeter hindurch selbst beobachtet. Koosen übersieht in seiner Betrachtung vollkommen, dass die Selbstentladung durch eine bereits vorgebildete Funkenstrecke hindurch stattfindet. Weiter heisst es a. a. O.: „dass, wenn die Dichte der Elektricität nicht diejenige Grösse erreicht, welche der dieser Entfernung gleichkommenden Schlagweite entspricht, eine Ausgleichung auf anderem Wege als durch den Inductionsdraht stattfinden muss.“ Die Batterie wird dann (S. 218) mit einem zweiten Schliessungsbogen, der eine Funkenstrecke enthält, versehen, und da heisst es: „war diese Funkenstrecke kleiner als diejenige zwischen dem Poldrahte und der Belegung“ (d. h. kleiner als die Inductionsschlagweite), „so konnte die Entladung der Batterie immer nur durch jene, nie durch den Inductionsdraht erfolgen.“

Durch das Gesetz, das wir soeben aus unseren Beobachtungen gefolgert, findet sich diese Behauptung wiederlegt.

Versuchen, wo es auf eine ganz bestimmte Ladung der Batterie nicht ankommt. Will man die Höhe derselben ermitteln, so schalte man in den Schliessungsbogen statt des Funkenmessers einen Entladungsapparat ein, und messe die erhaltene Ladung genau mit dem Galvanometer. Schätzen lässt sie sich, wie wir gesehen haben, schon durch die Anzahl von Inductionsstössen. Beiläufig ist eine gute Erdleitung stets nothwendig.

Zum Schlusse dieses Abschnittes will ich nur noch erwähnen, dass ich auch mit zwei Funkenstrecken zwischen der Batterie und dem Inductorium Versuche angestellt habe. Meine Beobachtungsreihen theile ich indess hier nicht mit, da das Resultat sich einfach folgendermaassen zusammenfassen lässt:

Sowohl der freie Inductionstoss, als auch die durch denselben hervorgebrachte Ladung der Batterie ist um ein wenig schwächer, als wie sie es bei einer einzigen Funkenstrecke sein würde, deren Länge gleich der Summe der beiden anderen wäre. Sobald aber zwei Funkenstrecken sich zwischen Inductorium und Batterie befinden, so ist eine jede Veränderung der Länge der beiden Schlagweiten ohne Einfluss, so lange nur ihre Summe constant bleibt, sowohl wenn beide Funkenstrecken in dem einen Verbindungsarm, als auch dann, wenn die eine zwischen dem positiven Zweige und der inneren Belegung, und die andere zwischen dem negativen Zweige und der äusseren Belegung eingeschaltet ist.

## II. Selbstentladung der Leidener Batterie durch das Inductorium.

Wir hatten oben gesehen, dass bei einer gewissen Intensität der Inductionsströme eine Selbstentladung der Batterie rückwärts durch das Inductorium hindurch eintritt, die in mancher Beziehung von Interesse ist. Wir besitzen hier nämlich ein Mittel, die Ladung ganz unabhängig von der Schlagweite zu machen, — wir können verhältnissmässig schwache Entladungen mit geringer Elektricitätsmenge bei sehr grossen Schlagweiten, und umgekehrt die stärksten Entladungen bei sehr kleinen, ja sogar solche ganz ohne Schlagweite erhalten.

Zweierlei Umstände sind hier dagegen besonders zu beachten: der Entladung der Batterie geht erstens unmittelbar die Ladung durch denselben Schliessungsbogen voraus, — und zweitens findet die Entladung durch eine durch den Inductionsstrom vorgebildete Funkenstrecke statt. Die Bedingungen für den Beginn der Entladung sind mithin hier ganz andere, wie gewöhnlich; hat dieselbe aber einmal begonnen, so wird im weiteren der Verlauf eben nur durch die Verschiedenheit der Funkenstrecke modificirt. Wir könnten also hier in weitesten Gränzen den Einfluss dieser letzteren kennen lernen.

Beobachtungen am Schliessungsbogen selbst anzustellen, würde aus dem zuerst angeführten Grunde kaum möglich sein, allein es genügt den Rückstand nach einer jeden Entladung zu beobachten, um den Verlauf derselben zu übersehen, und sich auf diese Weise zugleich von dem Ladungsstrom unabhängig zu machen.

In meiner frühern Abhandlung habe ich gezeigt, dass unter den gewöhnlichen Verhältnissen bei einem Widerstande von 60,000 Met. (mit Eisenkern) bei kleinen Schlagweiten die Entladungen einfach gerichtet waren, bei einer solchen von 1,<sup>mm</sup>35 zweifach, und bei 4,<sup>mm</sup>72 dreifach wurden (Ann. Bd. 115. Tab. z. S. 520. Col. 1.). Ich werde nun wiederum mit Hilfe der Rückstandsbeobachtungen nachweisen, dass man auch Entladungen mit 4, 5, 6 und 7 Alternationen, wobei dieselbe Spirale, unser oben beschriebenes Inductorium nämlich, den Schliessungsbogen bildet, erhalten kann. Aus theoretischen Gesichtspunkten wird sich alsdann da, wo die Möglichkeit aufhört, die Rückstände zu beobachten, später herausstellen, dass die Anzahl von Alternationen noch bedeutend zunehmen kann, und zuletzt, wenn gar keine Funkenstrecke mehr im Schliessungsbogen sich befindet, selbst bis ins Unentliche strenggenommen zunehmen muss.

Bevor ich noch etwas von der Möglichkeit eines negativen Rückstandes bei positiv geladener Batterie wusste, stellte ich folgende Versuchsreihe an. So wie früher die Ladung, wurde jetzt nach stattgehabter Selbstentladung, der Rückstandswerth durch die Ablenkung des Galvanometerspiegels ermittelt (s. das Schema der Fig .1.).

Rückstände einer Flasche von 0,25 Quadratmeter Belegung nach der Selbstentladung durch das Inductorium.

Inductions- schlagweite D	Freier Inductionstoss.			Rückstand.		
1,0 mm.	87	90	87	+ 5	+ 5	+ 5
2,0 "	68	71		+ 2,5	+ 2,5	+ 3,0
3,0 "	58	59		— 5	— 6,5	— 6,5
3,5 "	58			— 5	— 6	
4,0 "	56			— 5		
4,5 "	54			— 4,5		
5,0 "	51			— 4,5		
5,5 "	48			— 4,0		
6,0 "	45			— 3,0		
6,5 "	42			— 3,0		
7,0 "	41			— 2,8		
7,5 "	40			— 2,7		
8,0 "	39			— 2,5		
8,5 "	35			— 2,5		
9,0 "	32			+ 11	+ 12	bleibende positive Ladungen der Flasche.
9,5 "	32			+ 11	+ 11	
10	31			+ 10,5	+ 11	
etc.	etc.			etc.		

Verfolgen wir die Reihe von unten auf, so beginnt bei D = 8,5 die Selbstentladung der Batterie; der Rückstand ist hier negativ, nimmt bei zunehmender Schlagweite

**Rückstände nach der Selbstentladung der Batterie von verschiedener Oberfläche bei veränderter Schlagweite.**

Schlagweite.	∞	8	7	6	5	4	3	2	1
Flaschenzahl.									
0,0	580. 582. 583								
0,1	378. 378.	0 IV	+2,5+3,0 IV	+4,5+4,5 IV	+2+1,5	-0,2-0,5 V	0 0	+1+1 VI	0 -0,5 0 VII
0,2	368. 368.	-9,0-9,0	-5,5-6	-2,8-2,5	+4+4	+6+6	+1,5+1+1 V	-2-1	+0,5+1
0,3	362. 364.	-3,5+16+17	-10-10	-8-7	0 0 IV	+5+6	+5+5	-3-2	+1+1
0,4	358. 364.	+3,4-5,0-5,0 III	-7-8	-10-10	-11-11	+4+3 IV	+7+7	-1-1 V	+2+1,5
0,5	353. 349.	+23+23+23	-5-5 III	-7,5-8	-10-9	-12-12	+6+6	+8+8	+0,5+0,5 VI
0,6	345. 340.	+21+22+22	+22+22	-6-6 III	-9-10	-12-11	+5+4	+7+7	0 -0,5-0,5
0,7	328. 335.	+21+20	+22+22	+23+23	-7-7	-10-11	0 0 0 IV	+7+7	-3-3
0,8	333. 329.	+21+20	+22+23	+22+23	-6+24-7	-10-9	-12-12	+6+7	-2,5-3
0,9	329. 331.	+20+20	+22	+23	-6-6 III	-8-8	-11-12	+6+6	-3-2,5
1,0	325. 321. 321	+19+19	+21	+23	+22+23	-8-7	-11-11	+5+5	-2-2
1,1	319. 320.	+19+18	+20	+22	+22+23	-7-7	-10-11	+4+4	-1-1
1,2	315. 314.	+17	+19	+21	+23	-6+23-7 III	-10	+4	-0,5-0,5 V
1,3	309.	+15 II	+18	+20	+22	-7+23+22	-10	+2-8+1 IV	0 +5 0
1,4	305. 297.	+11-46-45	+18	+19	+20	+20+21	-9	-9-7	+5+3 0
1,5	297. 301. 297	-45+12-45	+14+15+18	+18	+19	+21	-9	-11-9-10	+5+5
1,6	302. 300.	-44-44	+16+15	+18	+19	+20	-8-8	-10-9-10	+5+5
1,7	294.	-45	+13 II	+16	+18	+20	-6-7	-9	+4
1,8	291. 290.	-44	-39-40	+15	+19	+19	+21-6-6 III	-8	+4
1,9	282. 285. 278	-43	-42-43	+15+11+16	+18	+19+19	+20-5+20	-7	+4
2,0	272. 271.	-41	-39-40	-40+12+12 II	+15+15	+17	+19+19	-8	+3
2,1	272. 275.	-40	-39	+11-39-40	+14	+17	+18	-7	+3
2,2	271. 271.	-41	-40	-37-38	+14	+16	+16	-7	+3
2,3	269.	-39	-39	+9-38	+14+13	+15	+17+17	-7	+3
2,4	267.	-37	-39	-38	+13+14	+15	+16	-6	+2,5
2,5	255. 259.	-38	-38	-37	+12	+17+14	+18+16	-6	+2
2,6	259.	-36	-38	-36	+11	+15	+16	-6	0 +2
2,7	257. 258.	-36	-38	-37	+11	+16+14	+17	-5,5	+2+2
2,8	255.	-38	-37	-36	+12+11	+14	+16	-5,5	+2+2
2,9	241. 245.	-37	-37	-36	+10 II	+13	+15	+17-6-5	+2
3,0	243.	-35-34	-34	-35	-35-35	+12	-15	-6-5-4 III	-1-10
3,1	249. 242.	-34	-35	-35	-34-35	+12	+17+15	-4+15+17	+2-7
3,2	232. 234.	-33	-35	-33	-33	-32+10+12 II	+15	+15	-5-7
3,4	206? 223.	-32	-33	-33	-33	+10-30-30	+14	+15	-6
3,6	225.	+77-31	-32	-32	-33	+9-30+7	+13	+14	-5
3,8	224.	-30	-31	-31	-32	-32-31	+12	+14	-5
4,0	212. 220.	-30-29	-30	-32	-31	-30	+11	+13	-5-6
4,2	215. 218.	-28-28	-29	-30		-31	+7+10	+14+12	-3-5
4,4	220. 216.	+76+76-27	-28		-29-30		+9+10		-4
4,6	208. 206.	+75-24	+68-25-27			-26	+9		-3
4,8	204.	+75+74-24	-27-27			-28	+8+8	+12	-3
5,0	197.	+75-22+75	+69-25-26			-27	+8		
5,2	196.	+73+73	-23+69-24		-26		+8	+10	
5,4		+73	-22-22		-25		-25+6+5 II		
5,6	194. 187.	+71	-20+68-20	-24	-24		-25-25	+8	
5,8	187.	+73+73	-22-21 I		-24		-25		
6,0	184.	-16+72+72	+68+69-20	+63-21-21	-23	-25	-24	+7	-3
6,2	176.	+73+71	+66-17-20		-22	-24	-23	+5	-2,5
6,4	170.	+71	+67+67	-21		-24	-23	+4	+10-2
6,6	173.	+68+71	-16+66+67	-20	-21	-23	-23	+3	-2+8
6,8	172.	+71+70	+66	-17-20	-22	-23	-23	+5+3	-2-2
7,0	169.	+71	+67-11+67	-17+63	-19-18	-23	-23	+5+6	+8+9
7,5	165.	+72	+65+65	-15-16-15 I	-18	-22	-21	+2+5 0 II	+9+8
8,0	163.	+70	u. s. w.	-14		-19		-19+4-20	+9
8,5	158.	+69		+61+62		-20		-20	+8
10		u. s. w.	bleibende pos.	u. s. w.		-14 I			
12						+50		-14	
14		bleibende posit.	Ladungen.	bleibende pos.				-13 I	+3 II
17		Ladungen.		Ladungen.		u. s. w.		+35	-10
24						bleibende pos.		u. s. w.	-6
26	73.					Ladungen.		bl. pos. Lad.	+22-3 I
									u. s. w. pos. Lad.

an Elektrizitätsmenge zu, bis er bei 2<sup>mm</sup> Schlagweite plötzlich das Zeichen ändert und dann wieder zunimmt. Um einen sicheren Einblick in den Zusammenhang dieser Beobachtungen zu gewinnen, erschien es zunächst nothwendig, die Verhältnisse zu variiren, namentlich die Intensität des Hauptstromes zu vergrössern, und die Oberfläche der Batterie zu verändern.

Doch stellte ich zuvor noch folgenden sehr belehrenden, und a posteriori wohl begreifbaren Versuch an: Ich schaltete ein zweites Galvanometer ein in den Ladungs-  
zweig Dk (siehe Fig. 1.) und fand, dass die Ausschläge an beiden Galvanometern vollständig identisch waren, obgleich doch ganz verschiedene und nicht einmal gleichzeitige Ströme an denselben beobachtet wurden, nämlich zuerst an dem in Dk der Ladungsstrom, und darauf nach Senkung des Fallarms F an dem andern Galvanometer der Entladungsstrom. Der Theorie nach muss das auch so sein, denn dieselbe Elektrizitätsmenge, die zuerst die eine Galvanometerspirale durchfloss, brachte nachher bei der Entladung den Ausschlag am andern hervor. In diesem Versuche möchte ich aber einen experimentellen entscheidenden Beweis sehen für die Güte des Galvanometers als Messinstrument, — denn in der That, an Dauer und Art verschiedenere Entladungen kann man kaum angeben, als den inducirten Ladungsstrom und den Entladungsstrom in einer kurzen Nebenschliessung. Und noch mehr, auch wenn die Batterie sich durch die Inductionsschlagweite D hindurch wieder entladen hatte, auch dann waren die Ablenkungen an beiden Galvanometern einander gleich, obgleich einerseits eine schwache Entladung in der Nebenschliessung, in dem Arme Dk dagegen die Differenz zweier Ströme, eines Ladungsstromes und des ihm entgegengerichteten Entladungsstromes beobachtet wurde. Mochte der letztere aus noch so vielen Alternationen bestehen, die Ablenkung gab richtig den Ueberschuss nach der einen oder andern Seite an, war der Rückstand negativ, so war es auch die Ablenkung im Ladungszweige Dk.

Während der nachfolgenden Versuchsreihe wurde die Intensität des Hauptstromes möglichst constant erhalten. Die Flaschenzahl  $\infty$  repräsentirt wiederum den freien Inductionsstrom. (Hier folgt die Tabelle.)

Eine bleibende Ladung der Batterie wird, wie wir auch schon früher sahen, bei um so kleinerer Schlagweite gewonnen, je grösser die Batterieoberfläche. — Gehen wir von den grösseren zu den kleineren Schlagweiten allmählig vor, so erkennen wir einen gesetzmässigen Gang der Rückstände. Da wo die Selbstentladungen beginnen, ist der Rückstand stets negativ, und zwar mit der Oberfläche an Elektrizitätsmenge zunehmend. Nachdem ein Maximum erreicht ist, tritt plötzlich, wie durch römische Ziffern angedeutet ist, eine Periode positiver Rückstände auf, dann folgt wiederum eine negative, dann eine positive Periode u. s. f. Je kleiner die Batterieoberfläche, um so ausgedehnter sind die Perioden, um so kleiner die absolute Menge des Rückstandes. Bei einer Flasche übersieht man deutlich sieben verschiedene Perioden, und zwischen der Schlagweite 0,0 und

0,1 könnten noch mehrere vorhanden sein. — Dieser Gang der Beobachtungen findet eine Erklärung in folgender Betrachtung:

Durch den Inductionsfunken findet eine Erwärmung und Verdünnung der Luftstrecke zwischen den Elektroden statt, die, wie wir gesehen haben, eine Selbstentladung der Batterie veranlasst bei einer geringeren Dichtigkeit der Elektrizität, als wenn die Luftstrecke nicht bereits vorgebildet wäre. Es entladet sich die Batterie, und zwar so, dass sie, während die Elektrizität zurück in das Inductorium fliesst, nicht bloß alle positive Elektrizität verliert, sondern sich, wie in meiner Abhandlung bereits nachgewiesen wurde, bis auf einen gewissen Bruchtheil in der ursprünglichen Ladung, jetzt mit der entgegengesetzten Elektrizität ladet. Nun tritt ein Moment des Gleichgewichts ein, nach welchem sofort die entgegengesetzte Bewegung beginnt, die mit einer positiven Ladung der Batterie endigt. Nach wiederum eingetretener Gleichgewichtslage fängt eine neue Alternation an, bei welcher die positive Elektrizität in der ursprünglichen Richtung sich bewegt u. s. f., — bis die immer kleiner werdenden Maxima der Ladungen im Moment des Gleichgewichtes nicht mehr im Stande sind, die Funkenstrecke zu überwinden. Die Dichtigkeit, die hiezu nothwendig ist, ist dieselbe für die einzelnen Alternationen, wie für den Beginn der Selbstentladungen, wie man sich überzeugt, wenn man die hier beobachteten Max. der Ladungen oder der Rückstände hinsichtlich ihrer Dichtigkeit mit den Werthen der vorletzten Columnne der Versuchsreihe auf Seite 12 vergleicht.

Bei jeder beliebigen Oberfläche kann desshalb beim Beginn der ersten Periode immer nur eine einfache Entladung stattfinden, weil, gleich nach Vollendung der ersten Alternation, die in der Batterie angesammelte negative Ladung niemals die Dichtigkeit besitzt, die zur Durchbrechung der vorgebildeten Funkenstrecke erforderlich ist. Sie beträgt faktisch nur den dritten Theil der Dichtigkeit der ursprünglichen Ladung, welche selbst gerade eben im Stande war, die Entladung zu veranlassen. Es beginnt z. B. die bleibende Ladung der Batterie von 8 Flaschen bei  $D = 4,4$  mit einer Dichtigkeit  $\frac{76}{8} = 9,5$ .

Die erste während der Selbstentladung auftretende negative Elektrizitätsmenge ist hier  $= -27$ , deren Dichtigkeit mithin bloß 3,4. — Diese genügt bei weitem nicht mehr, die bedeutende Funkenstrecke rückwärts zu durchbrechen; daher bleibt die Batterie negativ geladen, und es wird gleich das erste negative Maximum als Rückstand beobachtet.

Dieser steigt nun aber weiter in dem Maasse an, als die Schlagweite verringert, und dadurch die ursprüngliche Ladung der Batterie erhöht wird, bis eine zweite Alternation beginnt. Alle Entladungen von II aufwärts bis III sind alsdann zweifach, zwischen III und IV dreifach u. s. f., — und es ist wohl zu bemerken, dass zweierlei Umstände den Beginn einer neuen Alternation bei Verkleinerung der Schlagweite befördern: einmal wird die Ladung stärker, mithin deren Dichtigkeit grösser, dann aber genügt schon eine geringere Dichtigkeit, um die kleinere Funkenstrecke zu durchbrechen.

Bei gewöhnlichem Laden mit der Elektrisirmaschine steigt die Ladung der Batterie zugleich mit der Funkenstrecke.

Betrachten wir jetzt die Beobachtungen der einzelnen Horizontalreihen, also die Rückstände bei verschiedener Oberfläche und derselben Schlagweite, so bemerkt man sogleich, dass wenn bei einer gewissen Oberfläche eine neue Periode auftritt, die nächstfolgende nahezu bei derselben Inductionsschlagweite bei der halben Oberfläche erscheint. So beginnt z. B.

bei  $D = 1,3$  die 5<sup>te</sup> negative Periode bei 1 Flasche

„ 4., positive „ „ 2 „

„ 3., negative „ „ 4 „

„ 2., positive „ „ 8 „ , ferner

bei  $D = 0,4$  „ 6., positive „ „ 1 „

„ 5., — „ „ 2 „

„ 4., + „ „ 4 „

„ 3., — „ „ 8 „

bei  $D = 0,1$  „ 7., — „ „ 1 „

„ 6., + „ „ 2 „

„ 5., — „ „ 4 „

„ 4., + „ „ 8 „

bei  $D = 0,6$  „ 4., + „ „ 3 „

„ 3., — „ „ 6 „

Die Ursache hievon ist leicht zu erkennen, wenn man bedenkt, dass derselbe Inductionsschlag, der z. B. 8 Flaschen bis zu einer Dichte 9,5 lud, bei derselben Schlagweite  $D = 4,4$  nahezu die doppelte Dichtigkeit der Ladung bei vier Flaschen hervorbringt. In demselben Verhältniss würde auch die während der Selbstentladung auftretende erste negative Ladung dichter sein, wie die bei 8 Flaschen, und es könnte bereits eine Alternation beginnen. Aber die nun folgende positive Ladung wäre nicht mehr im Stande, die Funkenstrecke zu durchbrechen. Bei 2 Flaschen würde auch das dritte Maximum der Ladung weit dichter sein, und das vierte erst könnte als Rückstand beobachtet werden, bei einer Flasche erst das fünfte Maximum der Ladung. Wir sehen daher bei derselben Inductionsschlagweite bei

8 Flaschen eine einfache Entladung und der Rückstand —,

4 „ „ zweifache „ „ „ „ +,

2 „ „ dreifache „ „ „ „ —,

1 „ „ vierfache „ „ „ „ +,

u. s. w., wenn man die Oberfläche noch weiter verkleinern wollte.

Abweichungen von solch gesetzmässigem Gange giebt es allerdings mehrere. Ehe ich diese bespreche, mag es indess nicht überflüssig sein, eine zweite ähnliche Versuchsreihe hier mitzutheilen, bei welcher die Intensität des Hauptstromes eine andere und zwar schwächere war, so dass dadurch sämtliche Perioden bei kleineren Schlagweiten auftraten.

Rückstände der Batterie nach der Selbstentladung durch das Inductorium.

Flaschenzahl: Schlagweite D	∞	8	4	2	1
0,00	508. 512. 508. 508.	III	IV	V	VI
0,09	313. 312.	+10+7+4	-3-4-3	+1+1+0,5	+1+1
0,18	308. 298.	+4+11+11	-8-9-8	+2+2	0-0,5
0,27	298. 298.	+18+15+14+14	-10-10-10	+3+3+5	-1,5-2-3
0,36	292.	+18+18	-9-9-10	+5+6	-2
0,45	290. 290.	+18	-8-9	+5+5	-2
0,54	272. 278.	+15+14	+17-6-5	+2+2	-2
0,63	271.	+13+11+12	+20+19-4	-8-9-0-9	-1
0,72	264. 255.	-40-38+13	+18-2+18	-6-9-9	+4+5+4
0,81	255.	-38+10-37	+17+18	-9-8-9	+4+5
0,90	249.	-36-37	+15+17	-8-7-9	+5+4
0,99	249. 246.	-36-36	+17+16	-9-8	+5+4+4
1,17	238.	-35	+16	-7-7	+4+5
1,35	232. 224.	-34	+15	-6	+3,5+4
1,53	220.	-33	+13+14	-5+14-5	+2,5-4+2
1,71	216.	-31	+13-28+12	-2+14	4-6
1,89	215.	-30	-28-29-28	+14-2+14	-6-5-0
2,25	206.	-28	-28	+13+13	-6-6
2,70	186.	+66+65-26	-26	+12	4
3,15	174.	+64+63+64	-25	+10	4
3,60	162.	+62+63	-23-24	+8	-2-24
4,05	154.	+62	-22	+7	+6+8+8
4,50	150.	+62	-21	+7	+8,5+8
5,4	148.	+61	-19+45	-19-18+3	+6+8+8
6,3	135.	+58+59+57	+45-14-14	-19-17-18	+8+7
7,2	125.	+57	-12+45	-18	+6+6
8,1	118.	+55	+43+43-10	-14-14	+5+5
9,0	108.	+54	+42+43	-13	+4
9,9	103.	+54	+40+41	-12	+3+2
10,8	98.	+52	+41	-12-11	+3+3
11,7	83.	+48	+40	-10	-11-11+2
12,6	80.	+46	+39	-29-9-10	-10-9
13,5	71.	+42	+38	+26+25-7	-9
15,7	64. 53.		+37	+29	-8
18,0			+34	+28	-6-7
18,9				+27	+18-5+19
20,1				+26	+19
22,5					

Es war die Capacität  
 der 8 Flaschen = 8,05  
 „ 4 „ = 4,09  
 „ 2 „ = 2,14  
 „ 1 „ = 1,00

Der Funkenmesser, der hier angewandt wurde, war in Linien getheilt, und die Angaben desselben wurden nachher auf Millimeter reducirt. —

Die obigen Betrachtungen passen vollkommen auf die vorliegende Versuchsreihe. Durch die geringere Intensität des Hauptstromes haben wir bei einer Flasche bloss sechsfache Entladungen erreicht.

Auch sehen wir ein nahezu gleichzeitiges Auftreten neuer Perioden bei derselben Schlagweite in allen vier Vertikalkolumnen. Aber eben auch nur nahezu; überhaupt haben wir es in dieser Beziehung nicht etwa mit dem Ausdruck eines mathematischen Gesetzes zu thun, denn der Rückstand hängt von mehreren von einander ganz unabhängigen Umständen ab. So lange es unentschieden ist, ob der Coefficient m, der schon öfters definirt wurde, für alle Oberflächen und für jede Alternation derselbe ist, so lange lässt sich der Rückstand nicht sicher vorausbestimmen. Genug, wenn wir für jetzt, wo mehrere unbekannte Factoren noch im Spiel sind, bloss annähernd die Ursache des gesetzmässigen Ganges erkennen. Oft lässt sich sogar die Abweichung und der Grund derselben einsehen:

Bei D = 2,25 beginnt z. B. bei 8 Flaschen die Selbstentladung. Die Dichtigkeit des Rückstandes ist  $-\frac{28}{8} = 3,5$ . Bei 4 Flaschen hat die nahezu doppelt so dichte ursprüngliche Ladung einen Rückstand — 28 gegeben, dessen Dichtigkeit 7 auch die doppelte ist. Zum Zurückgehen ist aber bei dieser Schlagweite eine grössere Dichtigkeit nöthig, wie wir aus der Reihe für 8 Flaschen ersehen, nämlich die Dichte  $\frac{67}{8} = 8,4$ . Die zweifache Selbstentladung oder die zweite, positive Periode der Rückstände beginnt mithin bei 4 Flaschen erst bei kleinerer Schlagweite.

Aehnliche Beispiele findet man in beiden Versuchsreihen. In unserer Erklärung ist stillschweigend vorausgesetzt worden, dass die Dichtigkeit beim Beginn einer neuen Alternation durch dieselbe Formel  $\delta = a\sqrt{D}$  bedingt werde, und zwar so, dass auch die Constante a denselben Werth 4,5 hat.

Dass der Verlauf der Entladung im Allgemeinen so stattfindet, wie wir ihn uns gedacht haben, leuchtet am besten aus solchen Beobachtungen hervor, wie wir sie beim Eintritt einer neuen Periode sehen, wo bei derselben Schlagweite ganz verschiedene Rückstände erhalten wurden. So z. B. beim Beginn der Selbstentladung der Batterie von 8 Flaschen unter D = 2,70, wo die Werthe + 66 und — 26, oder unter D = 1,71 bei 4 Flaschen die Zahlen — 28 und + 13 abgelesen wurden. Diese Differenzen sind durchaus lehrreich, und leicht zu erklären. Die einzelnen Inductionsstösse sind nämlich, wie die Zahlen unter ∞ zeigen, bei ein und derselben Schlagweite nicht genau einander gleich: bei einem

etwas stärkeren Stromes müsste also die Ladung im ersteren Falle etwas grösser als + 66 ausfallen, und eine Selbstentladung veranlassen, die einen Rückstand entgegengesetzten Zeichens giebt. Bei allen Uebergangsstellen aus einer Periode in die andere findet man ähnliche Schwankungen, wo alsdann die kleinere Zahl stets einer Entladung entspricht <sup>1)</sup>, die eine Alternation mehr zählte.

Einen ganz analogen perioden Gang der Rückstände erhielt ich, wenn ich bei constanter Funkenstrecke die Intensität des Hauptstroms allmählig erhöhte. Ich übergehe diese Versuche, da sie durchaus mit jenen übereinstimmende Resultate ergaben, und von denselben allgemeinen Gesichtspunkten aus sich verstehen liessen.

Der Werth der vorliegende Versuche liegt, wie mir scheint, hauptsächlich darin, dass man bei jedweder Funkenstrecke, und beliebiger Oberfläche eine jede Anzahl von Alternationen erzwingen kann, und so die Art der Entladung gleichsam beherrscht. Lässt man die Funkenstrecke unverändert, so kann man zunächst durch allmähliche Erhöhung der Intensität des Hauptstromes die positive Ladung der Batterie steigern, dann aber bei derselben Funkenstrecke einfache, zweifache, dreifache u. s. w. Entladungen erhalten, und dadurch ist man weiter im Stande, den Einfluss dieser Ströme auf die Magnetisirung von Stahlnadeln, auf Erzeugung von Nebenströmen, auf Lichterscheinungen u. a. zu beobachten. Ich glaube kaum, dass es irgend ein anderes Mittel gäbe, Entladungen mit mehrfachen Alternationen und ganz bestimmter und genau bekannter Anzahl derselben zu erhalten. Die Rückstände dienen hierbei nicht blos als Prüfungsmittel für die Art der Entladung, sondern geben auch eine zuverlässige Controlle ab. Durch Einschaltung von flüssigen Widerständen lassen sich die Entladungen, hinsichtlich der Anzahl von Alternationen noch mannigfach variiren.

Wir hatten bisher die Batterie durch eine einzige Unterbrechung des Hauptstromes geladen. Man müsste einen Prüfstein für die Richtigkeit unserer Betrachtungen haben, wenn man jetzt mehrere Inductionstösse sich folgen liesse bis zum Moment der Selbstentladung, wobei eine grössere Schlagweite, und also auch eine weit höhere Ladung der Batterie erlangt werden kann. Von Interesse wäre demnächst die Beantwortung der beiden Fragen: 1) Welches Zeichen hat der Rückstand nach der Selbstentladung? und 2) wie verhält sich die absolute Elektrizitätsmenge desselben zur ursprünglichen Ladung?

Die Art der Beobachtungen war dieselbe, wie auf Seite 11. Dort sahen wir, wie bei gesteigerter Anzahl von Unterbrechungen des Hauptstromes die Ladung zunahm. Dieselben Zahlen, die dort mitgetheilt sind, sieht man in nachfolgender Versuchsreihe, bei welcher es namentlich auf die Rückstände am Ende einer jeden Horizontalreihe ankommt:

(Hier folgt die Tabelle.)

1) Auffallend ist in der letzten Versuchsreihe der plötzlich veränderte Gang der Rückstände von  $D = 0,36$  an aufwärts bis  $D = 0$ . Sie wechseln nämlich bei dem erreichten Maximalwerth nicht das Zeichen, sondern nehmen blos ab an Elektrizitätsmenge. Ein Gleiches sehen wir in der vorletzten Versuchsreihe unter 3, 6 und 7 Flaschen. Die Ursache dieser Anomalie, wenn ich so sagen darf, ist mir, ich gestehe es, nicht klar geworden. Vielleicht würde in diesem Falle die Einschaltung eines Dynamometers genügenden Aufschluss geben.

Rückstände einer Batterie von acht Flaschen, die durch mehrere Inductionsstösse geladen wurde:

[illegible]



Aus diesen Beobachtungen ersehen wir, dass wenn eine Batterie durch zwei oder mehrere Inductionsstösse geladen wird bis zum Moment der Selbstentladung, die letztere stets einfach gerichtet, und der Rückstand immer negativ sein muss, und zwar deshalb, weil nach der ersten Alternation die angesammelte negative Ladung niemals die nöthige Dichtigkeit haben kann, um die bedeutende Funkenstrecke rückwärts zu durchbrechen. Es nehmen die aufeinanderfolgenden Maxima der Ladungen in einem zu raschen Verhältniss ab. So muss beispielsweise der Rückstand — 58 bei  $D = 13,1$  nothwendig in der Batterie bleiben, da selbst die weit höheren Ladungen  $+ 139$ ,  $+ 131$ , etc. bis  $+ 66$  gewonnen werden konnten, und nicht die Funkenstrecke zu überwinden im Stande waren.

Das Verhältniss m des Rückstandes zur ursprünglichen Ladung ist nahezu constant  $= 0,35$ , unabhängig von Schlagweite und Elektrizitätsmenge. Diese letztere kann allerdings nicht immer beobachtet werden, aber, wie bereits oben, Seite 11, gezeigt wurde, lässt sie sich schätzen durch die allmähliche Zunahme der Ladung, da die durch jeden neu hinzukommenden Inductionsstoss aufgenommene Elektrizitätsmenge kleiner als die vom vorhergehenden Stoss herrührende ist. Sicherer erfährt man dieselbe auf solcher Gränze, wie z. B. bei der Schlagweite 9,6, wo durch sechsmalige Unterbrechung des Hauptstromes einmal die positive Ladung  $+ 111$  beobachtet wurde, das andre Mal diese Ladung wohl ein wenig grösser ausfiel, so dass die Selbstentladung der Batterie erfolgte, und der Rückstand — 37 erhalten wurde.

Bei der Schlagweite 7,0 sieht man ferner bei resp. 3 und 4 Inductionsstössen die Rückstände — 26 und — 36. Offenbar hatte bei der letzteren die Batterie bei 3 Unterbrechungen noch nicht die Dichtigkeit erlangt, die zur Selbstentladung erforderlich war. Diese trat also erst beim 4<sup>ten</sup> Inductionsstoss ein, dann aber bei einer höheren Ladung, — folglich der Rückstand grösser. Solcher Fälle giebt es oben mehrere. Ebenso erklärt sich noch schliesslich die Abnahme der negativen Rückstandswerthe bei Vergrösserung der Schlagweite, sobald dieselbe Anzahl von Inductionsstössen die Entladung hervorbrachte. So bei  $D = 3,15$ ; 3,7; 4,5; 4,7; die Rückstände — 28; — 28; — 25; — 24; oder bei  $D = 6,7$ ; 7,0; 7,6; die Rückstände — 37; — 36; — 35, — und bei mehreren anderen Stellen.

Aehnliche Versuche mit einem kleinen Siemensschen Inductionsapparate lieferten keine genügenden Resultate, weil die freien Inductionsstösse bei einer und derselben Schlagweite um ein Bedeutendes von einander differirten. Auch hier ist der Rückstand oft negativ, ein gesetzmässiger Gang ist aber aus dem angeführten Grunde nicht zu erhalten.

Interessant wäre die Wiederholung der vorliegenden Versuche — namentlich zur Bestimmung des Coefficienten m, — mit einem Inductorium mittlerer Grösse, d. h. einer Inductionsspirale von etwa 20 bis 30,000 Meter Länge. Ein solcher stand mir nicht zur Disposition. Zugleich wäre dann die allgemeine Gültigkeit der Formel  $\delta = a\sqrt{D}$  für den Beginn der Selbstentladung zu prüfen, und der Werth der Constante a zu ermitteln.

Leider ist es schwer oder vielmehr sehr umständlich auf absolutes Maass zurückzuführen; deshalb für den hier anzustellenden Vergleich ein und dieselbe Batterie und dasselbe Galvanometer angewandt werden müsste. Als Einheit für die Schlagweite könnten stets Millimeter angenommen und am Funkenmesser stets dieselben Metallkugeln (von 20<sup>mm</sup> Durchmesser) angebracht werden.

Um zum Schluss noch ein deutliches Bild vom Verlauf einer alternirenden Entladung zu geben, denken wir uns ein Behrend'sches (Fechner'sches) Säulenelektroskop mit der Innenseite der Batterie verbunden. Es müsste dann, — ein Versuch, der in Wirklichkeit wohl nicht ausführbar wäre, — das Goldblättchen nach der negativen Elektrode der Säule abgelenkt werden. Nehmen wir den ideellen Fall an, der Ausschlag sei während der ganzen Entladung in jedem Augenblick proportional der Ladung der Batterie, so können wir folgendermaassen durch die Bewegung des Goldblättchens die Entladung versinnlichen:

Bei einer vollständigen einfachen Entladung würde das Blättchen durch 0 hindurch auf die andere Seite ausschlagen. Diese Entladung entspräche einer Elektrizitätsbewegung einer und derselben Richtung, — analog der unveränderten Bewegung des Goldblättchens. Bei zweifacher Entladung kehrt dasselbe um, und über die Ruhelage hinüber; der bleibende Rückstand ist positiv. Es sei in Fig. 4 AP die vertikale Stellung des Goldblättchens, und es entspreche PAa der ursprünglichen Ladung. Während der ersten Alternation bewegt sich das Blättchen von Aa aus durch AP nach Ab, so dass  $PAb = m \cdot PAa$  wird, dann giebt PAb den negativen Rückstand an, wenn die Entladung einfach war. Bei allmählich vergrösserter Ladung nimmt PAa zu, mithin auch PAb, bis eine zweite Alternation eintreten kann, während welcher das Goldblatt von Ab aus durch AP nach Ac sich bewegt. Der positive Rückstand PAc wird wiederum ansteigen in demselben Verhältniss wie die Ladung wächst, und nach der 3ten Alternation wird PAD = m . PAc u. s. w. Es entspreche die letzte Alternation der Bewegung aus Ae nach Af, so ist PAf der negative Rückstand, oder bei unvollständiger letzter Alternation irgend ein Werth innerhalb fAe.

Kommt aber, wie beim gewöhnlichen Laden der Batterie mit der Elektrisirmaschine der Ueberschuss an positiver Elektrizität auf der Innenseite mit in Betracht, (siehe Pogg. Ann. Bd. 115 S. 525.) so schwankt das Goldblättchen nicht mehr um die Gleichgewichtslage AP. Man muss sich jetzt dem ganzen System eine gewisse Menge positiver Elektrizität mitgetheilt denken, wodurch die Gleichgewichtslage AP in die AP<sup>1</sup> übergeht [Fig. 5], so dass PAP<sup>1</sup> proportional ist der freien Elektrizitätsmenge. Ein seinem Wesen nach negativer Rückstand P<sup>1</sup>Af müsste am Galvanometer als positiver Ausschlag PAf beobachtet werden. Am Gange der Entladungen wird dadurch nichts geändert, worauf ich a. a. O. hingewiesen habe.

Wenn, wie wir gesehen haben, beim Laden der Batterie durch Induction bei jeder Verkleinerung der Inductionsschlagweite, die Ladung immer mehr ansteigt, so lässt

sich jetzt voraussehen, dass wohl auch mehr als 7 Alternationen, die schon mit Sicherheit oben beobachtet wurden, bei einer Entladung durch das Inductorium stattfinden können. Bei ganz geringen Funkenstrecken werden aber auch die Rückstände dermaassen abnehmen, dass sie nicht als Prüfungsmittel für die Anzahl von Alternationen werden dienen können. In dem Maasse, als die Inductionsstösse intensiver werden, muss zuletzt, bei kaum messbarer Schlagweite, auch die Anzahl von Alternationen wachsen, und endlich, wenn die Kugeln des Funkenmessers sich berühren, und gar keine Luftstrecke mehr im Schliessungsbogen vorhanden ist, bis ins Unendliche strenggenommen zunehmen, da alsdann die Entladung nicht mehr unterbrochen werden kann.

Ich sehe mich genöthigt, hier am Schlusse noch auf einige Bemerkungen des Herrn Dr. Feddersen, die den vorliegenden Gegenstand betreffen, einzugehen. Wie in meiner früheren, so habe ich auch in dieser Abhandlung das Wort „alterniren“ gebraucht, um abwechselnd entgegengesetzte Ströme zu bezeichnen. Ich bin in dieser Beziehung dem Vorgange des Herrn Dr. Paalzow in der Ueberzeugung gefolgt, dass das Wort „Alternation“ die einmalige Bewegung der Elektrizität in einer unveränderten Richtung richtiger bezeichnet, als das Wort „Oscillation“, dessen Herr Dr. Feddersen sich bedient. In einer kürzlich veröffentlichten Abhandlung desselben<sup>1)</sup> heisst es wörtlich: „In der Veröffentlichung von Savary, wo allerdings von Oscillationen die Rede ist, war es mir nicht möglich, wie Herr v. Oettingen, die Vorstellung abwechselnd entgegengesetzter Ströme zu finden.“ Das Wort „Schwingung“, welches Savary<sup>2)</sup> häufig an der citirten Stelle gebraucht, ist durchaus nicht identisch mit Herrn Dr. Feddersen's Oscillationen. Savary spricht von unendlich kleinen Schwingungen (déplacements) der Körpertheilchen im Gegensatz zur Hypothese elektrischer Fluida. Denn er sagt (Seite 100): „Eine elektrische Entladung ist eine Bewegungserscheinung. Besteht nun diese Bewegung aus einer Fortführung von Materie, einer continuirlichen, in einer bestimmten Richtung? . . . Die Art, wie ein Draht seine Wirkung mit seiner Länge ändert, scheint diese Annahme nicht zuzulassen. Besteht dagegen die Bewegung in einer Folge von Schwingungen, die sich vom Drahte aus in die umgebenden Mittel fortpflanzen? . . . Alle Erscheinungen führen auf diese Hypothese.“ Savary nimmt also wirklich oscillatorische Entladungen an. Herrn Dr. Feddersen's Oscillationen sind aber eine Hin- und Herbewegung, nicht der kleinsten Theilchen, sondern eines elektrischen Fluidums zwischen den beiden Batteriebelegungen<sup>3)</sup>. Solche Bewegungen nennt Savary nicht oscillatorisch. Wie ich auch früher schon behauptet, hat Savary seine Vorstellungen nur angedeutet, wie er auch selbst ausdrücklich auf S. 103 oben ausspricht. Unmittelbar darauf heisst es im Zusatz: „Stellt man sich vor, die Magnetisierung geschehe durch abwechselnde Bewegungen in dem Drahte, und jede Schwingung zerstöre zum Theil die Wirkung der vor-

1) Pogg. Ann. Bd. 116. S. 171. Anm.

2) Pogg. Ann. Bd. 10. S. 100.

3) Pogg. Ann. Bd. 108. S. 438 u. 439.

hergehenden Schwingung, so wird man einsehen, dass die erste elektrische Bewegung allein die Richtung und Stärke des Magnetismus bestimmen muss, wenn, indem der Draht durch den ersten Impuls in Dampf verwandelt worden ist, die entgegengesetzten Bewegungen, welche jener gefolgt sein würden, nicht mehr Statt haben können.“ Diese entgegengesetzten Bewegungen sind in die Sprache der Hypothese elektrischer Fluida übersetzt, offenbar nichts anderes als Alternationen, oder einander abwechselnd entgegengerichtete Ströme. Nach Savary wäre auch Feddersens continuirliche Entladung eine oscillatorische zu nennen, gerade so wie ein Lichtstrahl, der von einem leuchtenden Punkte aus in die Unendlichkeit sich fortpflanzt, aus Schwingungen besteht, und desshalb ein oscillatorischer Strahl ist, nicht aber etwa bloss dann ein solcher sein wird, wenn man eine spiegelnde Fläche senkrecht auf seine Richtung ihm in den Weg stellt. Leider sind wir noch weit davon entfernt, alle elektrischen Bewegungen durch Oscillationen in der richtigen Bedeutung des Wortes erklären zu können. Auch, scheint mir, ist von solchen in den theoretischen Betrachtungen von Thomson und Kirchhoff nicht die Rede.

In einer anderen Anmerkung auf Seite 150 der citirten Abhandlung sagt Feddersen: „Zugleich möchte ich bemerken, dass gewiss auch in jedem Momente der Entladung der passive Rückstand veränderlich ist, und dass daher, erst wenn bestimmte Data der Beobachtung über diese schwierige Frage sich haben gewinnen lassen, die von Hrn. v. Oettingen gegebene Stromcurve exact genommen und die strenge Gültigkeit der Formeln behauptet werden darf.“ Zunächst, ich gestehe es, verstehe ich nicht, was Herr Dr. Feddersen unter einem passiven Rückstande, — der noch dazu in jedem Moment der Entladung veränderlich sein soll, — versteht. In Betreff des zweiten Punktes aber habe ich nicht ermangelt, ausdrücklich und — ausführlich in meiner Abhandlung (s. Ann. 115. S. 525.) darauf hinzuweisen, durch wie viele störende Momente die Reinheit der Beobachtungen noch getrübt werde; von strenger Gültigkeit der Formeln habe ich gar nie gesprochen, sondern letztere bloss als Ausgangspunkt der Erklärung den Beobachtungen vorangestellt, — und ich zweifle sehr an der Möglichkeit einer anderen Erklärung meiner Versuche.

Eine Stromcurve, wie ich sie a. a. O. <sup>1)</sup> für eine alternirende Entladung verzeichnet habe, wird, — so lange wir Funkenstrecken im Schliessungsbogen haben —, niemals exact genommen werden dürfen, schon desshalb nicht, weil die Funkenstrecke sich nicht wie ein metallischer Leiter verhält, — und doch hiesse es unwissenschaftlich zu Werke gehen, wollte man desshalb die theoretischen und rein mathematischen Gesichtspunkte bei Seite thun.

Auch die vorliegende Abhandlung liefert einen Beweis dafür, dass der Einfluss der Funkenstrecke auf die Entladung sehr mannigfach ist, und dass derselbe fassbaren Gesetzen unterliege.

1) Pogg. Ann. Bd. 115. S. 516.

Fig. 1.

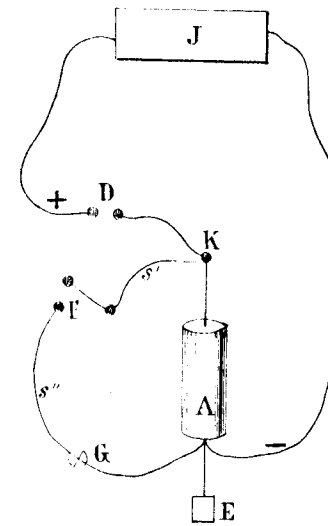


Fig. 2.

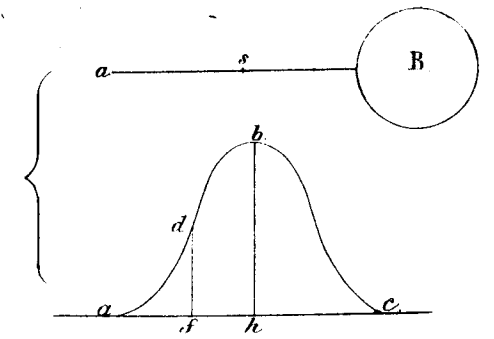


Fig. 5.

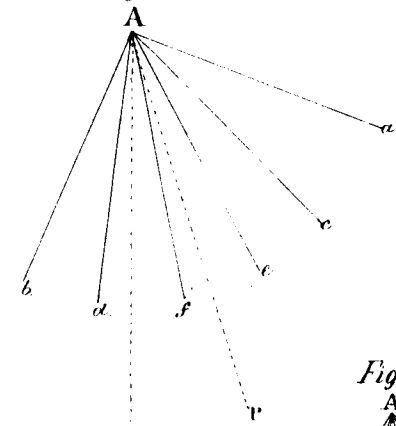


Fig. 3.

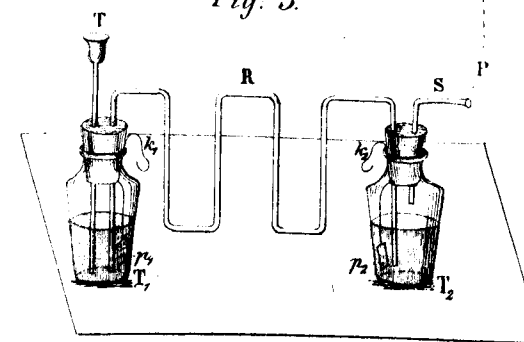
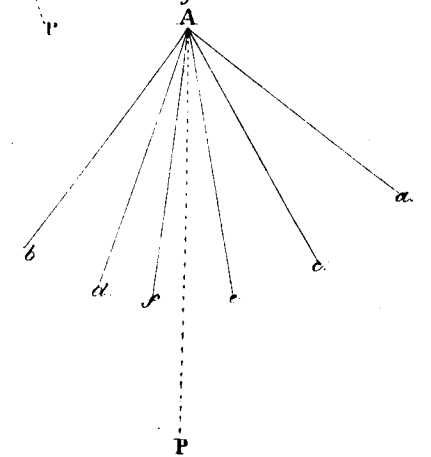


Fig. 4.



## **Thesen.**

---

1. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität ist nicht bekannt.
  2. Alle Körper sind selbstleuchtend.
  3. Für chemisch-praktische Zwecke gewährt die Methode der Spectralanalyse keine zuverlässigen Resultate.
  4. Fluorescenz und Phosphorescenz sind identische Erscheinungen.
  5. Die Astronomie ist eine abgeschlossene Wissenschaft.
  6. Die Heilkunde ist keine Naturwissenschaft.
  7. Es giebt Maschinen, deren bewegende Kraft nicht auf einen äquivalenten Verbrauch von Sonnenlicht zurückgeführt werden kann.
  8. Die materialistische Weltanschauung verstösst gegen mathematische Consequenz.
-